Abastecimiento de agua a la ciudad de Santiago de Cuba. Soluciones a mediano y largo plazos

INTRODUCCIÓN

El planeamiento hidráulico

El planeamiento hidráulico es un proceso continuo que prevé una interacción entre las acciones implementadas y los nuevos planes y en él debe existir una relación directa entre el proceso de planeamiento y los planes de la economía, realizándose en el mismo los estudios y las propuestas para satisfacer las demandas de agua a corto, mediano y largo plazos.[1-5]

Situación actual

En el trabajo: "Abastecimiento de agua a la ciudad de Santiago de Cuba: Situación actual y perspectiva",[6] **se demostró que las fuentes y obras en explotación, y a construir a corto plazo, garantizarán el suministro de agua a la ciudad hasta el año 2023, según las normas de consumo actuales y los valores de crecimiento considerados,**[6,7] **a partir del cual se pronostica que comenzará a existir déficit de no ponerse en explotación nuevas fuentes de abastecimiento.**

Realizar, de manera integral y sistémica, el planeamiento de los sistemas para el abastecimiento de agua a la ciudad de Santiago de Cuba a mediano y largo plazos, constituye el objetivo de esta investigación

EVALUACIÓN DE LAS FUTURAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Ubicación de las cuencas objeto de estudio

El desarrollo urbanístico de la ciudad está concebido en sus direcciones Norte, Este y Sureste,[8] **lo que define a las cuencas de los ríos Guaninicún y Baconao como las idóneas para lograr el objetivo propuesto. La calidad de las aguas de estas cuencas se califica como apta para consumo humano y desde los puntos de vista geológico e hidrológico existen condiciones favorables para el**

Resumen / Abstract

Tomando como punto de partida la definición de la secuencia para la ejecución del planeamiento, sus requerimientos de manera general y las características del planeamiento de los sistemas de aprovechamiento hidráulico en particular, y considerando, además, que en la investigación titulada "Abastecimiento de Agua a la Ciudad de Santiago de Cuba: Situación Actual y Perspectiva" se pronosticó que a partir del año 2023 existirá déficit en el suministro de agua a esta ciudad, de no ponerse en explotación nuevas fuentes de abastecimiento de agua. En la presente investigación se analizan y se proponen los embalses para suplir el déficit predicho, sus parámetros de regulación del escurrimiento, el trazado de los sistemas de conducción y la ubicación de las plantas potabilizadoras de agua; proponiéndose también las etapas para la puesta en explotación de manera escalonada en el tiempo del nuevo sistema de abastecimiento de agua.

Palabras clave: abastecimiento, agua, aprovechamiento hidráulico, embalses, escurrimiento, déficit, perspectiva, planeamiento, Santiago de Cuba, sistemas de conducción, suministro.

Taking as starting point the definition of the sequence to the planning execution, its general injunctions and the planning particular characteristics of the water supply systems, and also considering that in the research titled: "Water supply to the Santiago de Cuba City: Actual state and short time perspective" is predicted that after the year 2023 will exist deficit in the water supply to the City if not putting on exploitation new sources; in the present research are analysing and proposing the dames to supply the foreseen deficit, its draining regulation parameters, the outline to the conduction systems and the location of potation plants; also propounding to put on exploitation the new water supplies system in echelon form in the time.

Key words: conduction systems, dames, deficit, draining, hydraulic, perspective, potation plants, Santiago de Cuba, sources, supply, water, planning.

Ramón Vega Laugart, Máster en Ciencias, Ingeniero Hidráulico, Delegación Provincial del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Santiago de Cuba e-mail: hidrostg@hidro.cu, vegalaugart@yahoo.es

planeamiento de sistemas de abastecimiento de agua a partir de fuentes superficiales, pero deberá considerarse que desde el punto de vista sismológico en las estructuras que se proyecten se deberán tomar medidas sismorresistentes de acuerdo con la categoría VII en la escala MSK.[9,10]

Ubicación de los cierres para el diseño de futuros embalses

Para la localización de los cierres (tabla 1) se consideraron las condiciones topográficas, la entrega de agua por gravedad y provocar el mínimo de afectaciones. Por otro lado, en las zonas donde se proponen los embalses no se prevé ninguna acción para el desarrollo futuro de la zona.[11] **También se trabajó con los documentos que se referencian**[12-15] **y se realizó un detallado trabajo de campo, a partir del cual se llegó a la conclusión de eliminar del análisis los siguientes cierres:**

1. Cierre Guaninicún I: La entrega de agua sería por bombeo y provocaría grandes afectaciones.

2. Cierre Dos Hermanos I: Sería una obra ubicada por encima de la cota *H* = 350,00 m, en una zona intrincada, con inexistencia de infraestructura técnica y con área de cuenca pequeña.

3. Cierre Las Yaguas: Provocaría el mayor volumen de afectaciones económicas y sociales.

4. Cierre Baconao: La entrega de agua sería por bombeo y la variante óptima de ubicación de la EB crearía un volumen mínimo operativo de (VMO) de 60,00 hm^3, condicionando una presa muy alta para garantizar la entrega demandada.[16]

Análisis del posible trasvase de agua entre las cuencas

Estas cuencas son colindantes, el cierre Dos Hermanos comenzará a embalsar agua a partir de la cota *H* = 260,00 m y el cierre Avispero tendría el nivel de aguas normales del embalse (NAN) en la cota *H* = 219,00 m, por lo cual será factible el trasvase de agua por gravedad desde el cierre Dos Hermanos hacia la cuenca del río Guaninicún a través de un túnel, que podrá evaluarse en función de su longitud y la altura de la presa Dos Hermanos (H_{Pr}) (tabla 2).

Cálculo del volumen muerto de los embalses

Los datos hidrológicos para el cálculo de los Parámetros de Regulación del Escurrimiento (PRE) fueron tomados de los estudios que se referencian.[12,17-18] **El cálculo del volumen muerto de los cierres se realizó con la ecuación propuesta por Martínez que plantea:**

$$V_{mto} = (qs \cdot t) / 1 \cdot 10^6; \text{ en la cual: } q_s = G / g;$$

donde: G = Va / 365

donde:

V_{mto}: Volumen muerto del embalse (hm^3).

q_s: Caudal volumétrico de azolves (m^3/s).

t: Tiempo (días).

G: Caudal gravimétrico de azolves (T/día).

g: Densidad de los azolves (γ = 1,2 T/día)

Los resultados de los cálculos realizados para determinar el volumen muerto de cada embalse en los cierres propuestos se muestran en la tabla 3.

Cálculo de los PRE de los embalses en los cierres propuestos

Para el desarrollo de esta parte de la investigación se utilizó el programa KAX 2,0[20] **y fue necesario definir la entrega que deberá realizar cada cierre de la siguiente forma:**

1. Cierres evaluados para satisfacer la demanda de agua de la ciudad.

$$R^C_n = D_C + R^C_S$$

donde:

R^C_n: Entrega garantizada que deberá realizar el cierre analizado para la garantía de g = 95,0 %.

D_C: Incremento de la demanda de entrega de agua de la ciudad.

R^C_S: Parte de la entrega garantizada del cierre que se destinará a satisfacer el caudal ecológico.

2. Cierres evaluados para realizar trasvase regulado hacia otro cierre.

$$R^C_n = D^R_{Tr} + R^C_S; \text{ donde: } D^R_{Tr} = D_C - R^R_C; \text{ y}$$

$$R^R_C = R^R_{EN} - R^R_S$$

donde:

D^R_{Tr}: Demanda de entrega de trasvase regulado del embalse receptor.

R^R_C: Entrega que hará a la ciudad el embalse receptor de trasvase con su escurrimiento natural.

R^R_{EN}: Entrega garantizada del embalse receptor con su escurrimiento natural.

R^R_S: Entrega ecológica o sanitaria del embalse receptor con su escurrimiento natural.

El incremento máximo de la demanda de agua de la ciudad será de D_C = 18,79 hm^3, por tanto, se realizó el cálculo de los PRE de los embalses propuestos, con el objetivo de alcanzar esta entrega total, considerando el caudal ecológico aguas abajo de cada cierre dentro de la entrega neta del embalse y el trasvase regulado de la cuenca del río Baconao (Cierre Dos Hermanos) hacia la cuenca del río Guaninicún. Los resultados se exponen en la tabla 4.

Tabla 1
Ubicación de cierres

Cuenca	No.	Cierre	Coordenadas		Área de cuenca (km^2)
			N	E	
Guaninicún	1	Avispero	162,16	617,70	27,00
	2	Guaninicún	167,75	612,80	140,00
	3	Guaninicún I	177,86	603,32	470,00
Baconao	1	Dos Hermanos I	151,83	623,07	24,00
	2	Dos Hermanos	158,65	628,67	67,55
	3	Las Yaguas	157,20	632,95	95,10
	4	El Ramón	155,50	636,70	104,96
	5	La Pimienta	147,60	639,50	196,71
	6	Baconao	143,30	645,85	237,00

Tabla 2
Variantes del túnel de trasvase Dos Hermanos Guaninicún

Ubicación de la entrada	Entrada			Salida			Long. (km)
	Cota (m)	Coordenadas		Cota (m)	Coordenadas		
		Norte	Este		Norte	Este	
V_{mto}	263,39	158,500	627,175	250,00	161,125	620,300	7,275
$VMO_{máx}$	300,00	158,750	625,000	287,50	160,100	621,075	4,175

Tabla 3
Volumen muerto de los embalses propuestos

No.	Cuenca	Cierre	Va(T/año)	G(T/día)	qs(m^3/s)	T(años)	V_{mto}
1	Guanincún	Avispero	2 870	7,863	6,552	100	0,300
2		Guaninicún	13 791	37,784	31,486	100	1,150
1	Baconao	Dos Hnos	9 400	25,753	21,461	100	0,800
2		El Ramón	14 600	40,000	33,333	100	1,250
3		La Pimienta	25 100	68,767	53,306	100	2,020

Tabla 4
Entrega garantizada que deberá realizar cada cierre

Cierre	W_{min}	R_s	Demanda 2050	R_{EN}	R_C	Dem TrvReg	Ent garant.
Av - DH	0,010	0,120	18,790	4,530	4,410	14,380	18,910
DH - Av	0,220	2,640					17,020
G - DH	0,060	0,720	18,790	13,000	12,280	6,5100	19,510
DH - G	0,220	2,640					9,150
ER - C	0,640	4,080	18,790				22,870
LP - C	0,570	6,840	18,790				25,630

Nota:

Av.-DH: Cierre Avispero recibiendo trasvase regulado del cierre Dos Hermanos.
DH-Av: Cierre Dos Hermanos enviando trasvase regulado hacia el cierre Avispero.
G-DH: Cierre Guaninicún recibiendo trasvase regulado del cierre Dos Hermanos.
DH-G: Cierre Dos Hermanos enviando trasvase regulado hacia el cierre Guaninicún.
ER-C: Cierre El Ramón entregando el incremento de la demanda total del año 2050 a la ciudad.
LP-C: Cierre La Pimienta entregando el incremento de la demanda total del año 2050 a la ciudad.
$W_{mín}$: Escurrimiento mensual mínimo para la garantía de g = 95,0 % de probabilidad.
R_s: Parte de la entrega garantizada del cierre que se destinará a satisfacer el caudal ecológico o sanitario.
R_{RN}: Entrega garantizada del embalse receptor de trasvase con su escurrimiento natural (sin recibir trasvase).
R_C: Entrega que podrá realizar a la Ciudad el embalse receptor de trasvase con su escurrimiento natural.

Análisis de los resultados

Los resultados del cálculo de los PRE se muestran en la tabla 5. El análisis de los resultados se realiza en función de las combinaciones de cierres que se proponen (tabla 5).

1. *Combinación de los cierres Avispero y Dos Hermanos.*

a) Cierre Avispero. Este cierre con su escurrimiento natural entregará solamente R = 4,53 hm^3, con lo cual no satisfará la demanda a mediano plazo y para satisfacer el incremento total de la demanda D_C = 18,79 hm^3 deberá entregar (R_n) 18,91 hm^3, por lo que demandará un trasvase regulado (D_{Tr}) de 14,38 hm^3 desde su puesta en explotación.

b) Cierre Dos Hermanos: Tendrá que entregar (R_n) 17,02 hm^3 para satisfacer la demanda de trasvase del embalse Avispero, más su entrega ecológica. Excepto para la variante de presa más alta, para el resto de los casos el embalse sobrepasaría la curva cota vs volumen. Por tanto, esta combinación de obras es desechada.

2. Combinación de los cierres Guaninicún y Dos Hermanos.

a) Cierre Guaninicún: Este cierre con su escurrimiento natural garantizará una entrega a la ciudad de R_n = 12,25 hm^3, con la que se podrá satisfacer la demanda de la ciudad hasta el año 2038, y por otro lado, deberá entregar (R_n) 19,51 hm^3 para satisfacer el incremento total de la demanda, lo que realizará recibiendo un trasvase D^G_{Tr} = 6,510 hm^3.

b) Cierre Dos Hermanos: Tendrá que realizar una entrega de R_n = 9,15 hm^3 para satisfacer su entrega sanitaria más la demanda de trasvase, lo que es factible para cualquier variante de nivel mínimo de operación. Dentro de esta combinación se recomienda la variante de trasvase constante debido a que la altura del nivel de aguas normales se incrementa si se concentra el trasvase en el período seco (tabla 6).

3. *Cierre El Ramón*: Garantiza satisfacer el incremento total de la demanda de la ciudad, pero por su gran altura de nivel de aguas normales (H_{NAN} = 62,41 m) y la gran longitud de túnel para entregar el agua por gravedad no se considera en la continuación de la investigación.

4. *Cierre La Pimienta*: Por su ubicación en la parte medio-baja de la cuenca del río Baconao no es posible analizar ninguna combinación de trasvase, solo se analizan dos variantes:

a) Entregando el incremento total de la demanda: Su nivel de aguas máximas estará condicionado a no afectar el hospital rural "Joaquín Barrientos" ni las demás instalaciones económicas y sociales del asentamiento rural "La Pimienta", lo que fija su nivel de aguas normales en la cota *H* =134,66 m, con el que podrá realizar una entrega garantizada de R_n = 26,90 hm^3, con la que podrá satisfacer el incremento total de la demanda.

Tabla 5
PRE de los cierres seleccionados

Parámetros	Avispero	Guaninicún y trasvase regulado desde Dos Hermanos				El Ramón (Esc. Nat)	La Pimienta (Esc. Nat)	La Pimienta (Esc. Alt.)
		Guaninic. (Esc. nat.)	Guaninic. (TrvReg)	Dos hermanos (NMO en m)				
				263,39	300,00			
ganual	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	38,72	95,00	95,00
Wm	0,600	32,68	32,68	24,92	24,92	0,57	66,88	47,66
Cv		0,690	0,690	0,570	0,570		0,580	0,570
TrvReg			6,60					
VertIN			-					9,11
WmAlt			39,28					56.77
CvAlt			0,575					0,671
Vmín	0,30	1,15	1,15	0,80	28,63	1,25	2,20	2,20
Kfilt	0,120	0,100	0,100	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
α	0,6670	0,4610	0,4917	0,4048	0,5873	0,6292	0,3958	0,3606
NAN	219,00	160,18	160,18	283,27	306,28	227,41	134,66	134,66
NVmto	197,00	148,55	148,55	263,39	300,00	172,93	117,57	111,57
Rn	4,53	13,00	19,60	10,39	10,34	25,05	26,90	21,40
Pe	3,64	3,64	3,64	1,01	5,63	3,75	3,05	3,01
VertR	2,09	16,18	16,18	13,65	9,11	10,44	37,26	32,57
Vf	11,95	11,95	11,95	5,35	38,49	37,86	14,34	14,14
gmes	98,41	98,41	98,41	98,27	98,27	98,27	98,24	98,45

Nota:

ganual: Garantía anual efectiva en los 1 000 años simulados (%).
Wm: Escurrimiento medio (hm^3).
Cv: Coeficiente de variación del escurrimiento medio (fracción).
TrvReg: Valor anual del agua que recibe el embalse como trasvase regulado (hm^3).
VertIN: Valor anual del agua que recibe el embalse como vertimientos (hm^3).
Wmalt: Escurrimiento medio alterado por los vertimientos de otros embalses y/o el trasvase regulado (hm^3).
Cvalt:Coeficiente de variación del escurrimiento medio alterado (fracción).
Vmín: Volumen mínimo del embalse en función del volumen muerto o del nivel mínimo de operación (hm^3).
Kfilt: Coeficiente de filtración (adimencional)
α: Coeficiente de regulación del escurrimiento del embalse (adimensional).
Pe: Perdidas totales en el embalse(hm^3).
R_n: Entrega neta anual del embalse (hm^3).
NAN: Nivel de aguas normales del embalse (msnm).
NVmto: Nivel del volumen muerto o mínimo del embalse (msnm).
VertR: Promedio anual de vertimiento de agua desde el embalse (hm^3).
Vf: Promedio anual del volumen de llenado del embalse (hm^3).
gmes: Garantía mensual efectiva en los 1 000 años (12 000 meses) simulados (%).

b) *Con el escurrimiento alterado por el cierre Dos Hermanos*: Considerando la combinación de cierres Guaninicún-Dos Hermanos, este cierre aún podrá realizar una entrega de R^{P}_{n} = 21,40 hm^3, por lo que tiene posibilidades de desarrollo con otros usos.

Por tanto, lo más racional es evaluar las fuentes de abastecimiento de agua a poner en explotación a mediano y largo plazos de los embalses con los cierres siguientes:

1. Cierre Guaninicún, ubicado en la parte medio-alta de la cuenca del río Guaninicún, en las coordenadas N: 167,750 y E: 612,800.

2. Cierre Dos Hermanos, ubicado en la parte alta de la cuenca del río Baconao, en las coordenadas N: 158,650 y E: 628,670.

3. Cierre La Pimienta, ubicado en la parte medio-baja de la cuenca del río Baconao, en las coordenadas N: 147,600 y E: 639,500.

Tabla 6
Variación de la altura del nivel de aguas normales del cierre Dos Hermanos

NMO (m)	Variante	Cota (m)	NAN (m)	HNAM (m)
236,39	Entrega constante	260,00	283,27	23,27
	Entrega en el período seco	260,00	290,17	30,17
	ΔH		6,90	6,09
300,00	Entrega constante	260,00	306,28	46,28
	Entrega en el período seco	260,00	310,17	50,17
	ΔH		3,89	3,89

OBRAS PARA SATISFACER EL INCREMENTO DE LA DEMANDA DE LA CIUDAD A MEDIANO Y LARGO PLAZOS

La decisión definitiva sobre las obras que se construirán en las cuencas Guaninicún y Baconao para satisfacer el incremento de la demanda de agua de la ciudad a mediano y largo plazos, responderá a una valoración económica en la que deberá existir una relación directa entre el análisis para la planificación de la construcción de estas obras en el tiempo y los planes de la economía y en la que se deberán analizar los siguientes indicadores: Los costos de inversión y los costos anuales, los beneficios anuales, las posibilidades de financiamiento o fondo de acumulación, la ganancia neta (Beneficios-Costos), la relación Beneficios / Costos (B / C), la tasa de reproducción interna o tasa interna de retorno (TIR), el flujo de efectivo o de caja y el análisis de sensibilidad de los criterios con incertidumbre.[21] Este cálculo económico requerirá del estudio de factibilidad de cada una de las variantes de obras propuestas, lo que no está entre los objetivos de la investigación y la propuesta definitiva del sistema estará condicionada a una valoración económica que se deberá realizar considerando la siguiente secuencia:

1. Definir la variante óptima de altura de la presa Dos y la longitud de túnel de trasvase.

2. Con lo anterior definido, realizar entonces el análisis económico entre las variantes de los sistemas Dos Hermanos-Guaninicún-Ciudad y La Pimienta-Ciudad.

EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DESDE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA HASTA LA CIUDAD

Túneles hidrotécnicos

La combinación del túnel de entrega Guaninicún con cualquier variante del túnel de trasvase Dos Hermanos-Guaninicún representará una longitud total de túnel menor que la longitud del túnel de entrega La Pimienta, por tanto, resulta mejor variante el sistema Guaninicún-Dos Hnos-ciudad (tabla 7).

Sistemas de conducción de agua hasta la ciudad

a) *Conductora desde Dos Bocas hasta la ciudad*: Garantizará la entrega por gravedad, longitud de L_{Cd} = 10,80 km y permite la ubicación de la planta potabilizadora en dos posibles lugares: En Dos Bocas con una cota de *H* = 144,00 m y antes de llegar al poblado de San Vicente, en la cota H = 130.00 m. Por la accesibilidad e infraestructura técnica existente la segunda posición es la óptima y permitirá trabajar el sistema con una rasante piezométrica superior a la del Sistema Quintero, lo que condicionará mejor abastecimiento a las zonas altas de la ciudad.

b) *Conductora desde El Cupey hasta la ciudad*: Garantizará la entrega por gravedad y tiene una longitud de L_{Cd} = 24,45 km. La ubicación de la planta potabilizadora solo se podrá realizar en la salida del túnel de entrega La Pimienta, en la cota H = 100 00 m.

Por la menor longitud de la conductora Dos Bocas-ciudad y por la altura de la potabilizadora, el Sistema Dos Hnos-Guaninicún-ciudad resulta la mejor variante y estará compuesto por las siguientes obras: El túnel de entrega Guaninicún, la conductora Dos Bocas-ciudad, la planta potabilizadora San Vicente y el túnel de trasvase Dos Hermanos-Guaninicún.

Tabla 7
Variantes de túneles hidrotécnicos

No.	Túnel	Función	Variante	Entrada			Salida			Long. (km)
				Cota (m)	Coord.		Cota (m)	Coord.		
					Norte	Este		Norte	Este	
1	Guaninicún	De entrega	Única	148,00	164,588	612,725	144,40	160,937	612,400	3,600
2	Dos Hnos - Guaninicún	De trasvase	NMO = 263,39 m NMO = 300,00 m	263,39 300,00	158,500 58,750	627,175 25,000	250,00 87,50	160,125 60,100	620,300 21,075	7,275 4,175
3	La Pimienta	De entrega	Única	111,57	147,700	639,525	100,00	142,50	628,500	12,225

COMPARACIÓN PRELIMINAR DE LOS PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE LAS OBRAS A EJECUTAR EN LOS SISTEMAS

Para realizar la comparación preliminar entre los sistemas se asumieron los siguientes parámetros: la altura neta del nivel de aguas normales (H_{NAN} = NAN - H_{cierre}), la longitud total de túnel (L_{Tr}), la longitud total de conductora (L_{Cd}) y el caudal de potabilización (Q_{Potab}) (tablas 8 y 9).

Las relaciones de comparación muestran mejores resultados en el Sistema Dos-Hermanos-Guaninicún-Ciudad, por lo que, de manera preliminar, se propone a este sistema para satisfacer el incremento de la demanda de agua de la ciudad de Santiago de Cuba a mediano y largo plazos, el que estará compuesto por los embalses Guaninicún y Dos Hermanos, este último en la variante que resulte óptima en función de la altura de presa y la longitud del túnel de trasvase.

ESTRATEGIA PARA LA EJECUCIÓN Y PUESTA EN EXPLOTACIÓN DE LAS OBRAS DEL SISTEMA DOS HERMANOS-GUANINICÚN-CIUDAD

A partir de lo analizado y considerando la curva de incremento de la demanda de agua de la Ciudad, se denota que la adopción del Sistema Dos Hermanos Guaninicún - Ciudad permitirá satisfacer el incremento de la demanda de manera escalonada y con las siguientes ventajas:

1. Investigación, proyección, construcción y puesta en explotación del sistema en dos etapas. Con la puesta en explotación de las obras de la primera etapa se logrará realizar una entrega que permitirá satisfacer el incremento de la demanda hasta el año 2038.

2. Menor longitud total de túneles hidrotécnicos a construir.

3. Menor longitud de conductora a construir.

4. Mejorar el suministro de agua a las zonas altas de la ciudad.

Tabla 8
Comparación de los sistemas Dos Hermanos-Guaninicún-Ciudad y La Pimienta-Ciudad

Parámetros	Sistema		Relación de Comparación	
	DH-G-C	LP-C	DH-G-C/LP C	LPC/DJ-G-C
H_{NAN} (m): NMO = 263,39 m	22,69	32,66	0,70	1,40
H_{NAN} (m): NMO = 300,00 m	33,70	32,66	1,03	0,97
L_{Tn} (km): NMO = 263,39 m	7,775	12,225	0,64	1,57
L_{Tn} (km): NMO = 300,00 m	10,875	12,225	0,89	1,12
L_{Cd} (km)	10,800	24,450	0,45	2,24
Q_{Potab} (m^3/s)	0,650	0,650	1,00	1,00

Tabla 9
Parámetros técnicos de los embalses del sistema

Parámetros		Guaninicún (EN)	Guaninicún (EA)	Dos Hermanos	
				NMO = 263,38	NMO = 300,00
Coordenadas	N				
	E				
Wm		32,68	32,68	24,92	24,92
Cv		0,690	0,690	0.570	0,570
TrvReg			6,60		
WmAlt			39,28		
CvAlt			0,575		
α		0,461 0	0,491 7	0,404 8	0,583 3
Rn		13,00	19,60	10,39	10,34
Pe		3,64	3,64	1,01	5,63
U		16,64	23,24	11,40	15,97
VT		15,65	15,65	6,58	42,21
Vmto		1,15	1,15	0,80	28,63
Vu		14,50	14,50	5,78	13,58
NAN		160,18	160,18	283,27	306,28
NVmto		148,55	148,55	263,39	300,00
Vert		16,18	16,18	13,65	9,11
ganual		95,00	95,00	95,00	95,00
gmes		98,41	98,41	98,27	98,27

Por tanto, se propone la puesta en explotación de las obras del Sistema Dos Hermanos - Guaninicún - Ciudad o Sistema Noroeste para el abastecimiento de agua a la ciudad de Santiago de Cuba según el cronograma expuesto en el Anexo 1.

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló una investigación de planeamiento hidráulico con un enfoque sistémico.

2. De acuerdo con las características socio-económicas y las tendencias del desarrollo futuro aprobadas, desde el punto de vista técnico el sistema Dos Hermanos-Guaninicún-Ciudad es la mejor combinación de cierres para el abastecimiento de agua por gravedad a la ciudad de Santiago de Cuba a mediano y largo plazos, con la particularidad de que se ha analizado por vez primera el trasvase desde río Baconao hacia el Guaninicún en función de la demanda de agua de la ciudad y los niveles mínimo y máximo de operación de los embalses.

3. El sistema Dos Hermanos-Guaninicún-Ciudad ofrece la posibilidad de satisfacer el incremento de la demanda de agua de la ciudad a mediano y largo plazos de manera escalonada en el tiempo, con las menores longitudes de túneles y conductoras, y la mejor ubicación de la planta potabilizadora. Todo lo cual mejorará el suministro de agua a las zonas altas de la ciudad y brindará condiciones muy favorables para la interconexión de este sistema con las redes de distribución existentes.

4. Las cuencas de los ríos Guaninicún y Baconao están ubicadas en zonas con grado sísmico II, por tanto en las obras que se proyecten se deberán tomar medidas sismorresistentes que se correspondan con la intensidad VII en la escala MSK.

RECOMENDACIONES

1. Se deberá realizar una profunda valoración económica para la selección de la alternativa óptima, en la que se consideren los aspectos expuestos en el capitulo III.

2. La valoración anterior se deberá realizar en dos partes o etapas, en las que se definan:

a) Primera etapa: La mejor y más económica combinación de altura de la presa Dos Hermanos y de longitud del túnel de trasvase Dos Hermanos - Guaninicún.

b) Segunda etapa: Valorar cual de los dos sistemas (Dos Hermanos - Guaninicún - Ciudad o La Pimienta - Ciudad) será más ventajoso acometer.

REFERENCIAS

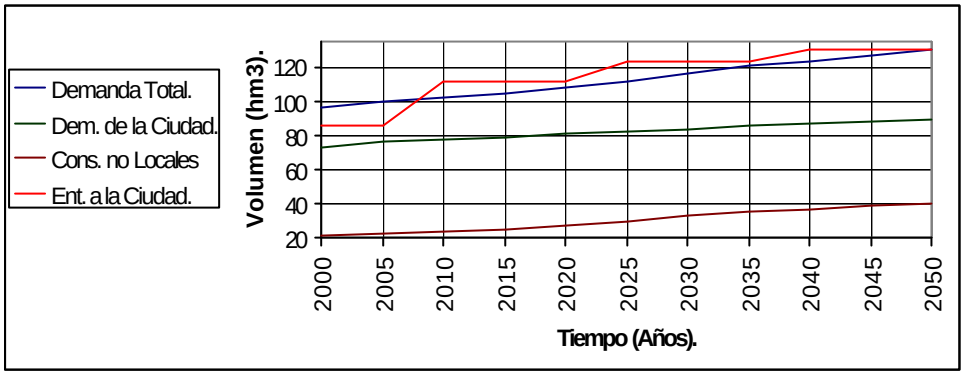
1. KOUDSTAAL, R.: **"Water Resources Management and Analysis for Planning and Application of Microcomputer", International Course on Water Resources Management, "Jaroslav Cernic" Institute for development of Water Resources Management, Belgrade, Yugoslavia, 1987.**
2. MILORADOV, M.: **"Water Resources Management and Planning", International Course on Water Resources Management, "Jaroslav Cernic" Institute for Development of Water Resources Management, Belgrade, Yugoslavia, 1987.**
3. VEGA L., R.: **"El planeamiento de los sistemas de aprovechamiento hidráulico" (inédito).**
4. _____ : **"El Planeamiento Hidráulico", Proyecto Integrador, Diplomado en Administración de Recursos Hidráulicos, CIH - ISPJAE, Bayamo, diciembre, 2001.**
5. _____: **"Evaluación de la demanda de agua de la ciudad de Santiago de Cuba a corto, mediano y largo plazos", Trabajo Investigativo, Diplomado en Administración de Recursos Hidráulicos, CIH - ISPJAE, Bayamo, diciembre, 2001.**
6. _____ : **"Embalses que abastecen a la ciudad de Santiago de Cuba: Reevaluación de sus caudales ecológicos", II Taller Nacional sobre Servicio Hidrológico, PCA, Sequía, Intensas Lluvias y Huracanes, Las Tunas, 2003.**
7. _____ : **"Evaluación de la solución para el abastecimiento de agua de la ciudad de Santiago de Cuba a mediano y largo plazos", Diseño de Investigación, Diplomado en Matemática Aplicada a la Ingeniería Hidráulica, CIH - ISPJAE, Bayamo, enero, 1999.**
8. **IPF: "Plan general de ordenamiento territorial y urbanismo de la ciudad de Santiago de Cuba", Dirección Provincial de Planificación Física, Santiago de Cuba, octubre, 2001.**
9. FILIÚ, C. M.: **"Manejo integral de cuencas hidrográficas (Guaninicún)", Centro de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Santiago de Cuba, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín, Santiago de Cuba, septiembre,1999.**
10. _____ : **"Manejo integral de cuencas hidrográficas. EIA Baconao", Centro de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Santiago de Cuba, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín, Santiago de Cuba, junio,1997.**
11. **IPF: "Plan provincial de ordenamiento territorial", Dirección Provincial de Planificación Física, Santiago de Cuba, 2001.**
12. SANJURJO, S. J.: **" Investigaciones hidrológicas para la actualización de los cálculos hidroeconómicos en el río Baconao", UNAIC, Santiago de Cuba, mayo, 2002.**
13. MARTÍNEZ, S. W: **"Estudio de factibilidad CH Guaninicún", Centro de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Santiago de Cuba, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín, Santiago de Cuba, octubre, 1999.**
14. _____ : **"Estudio de prefactibilidad de la presa Guaninicún", Centro de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Santiago de Cuba, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín, Santiago de Cuba, octubre, 1991.**
15. _____: **"PTE: CH Avispero", Centro de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Santiago de Cuba, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín, Santiago de Cuba, diciembre, 1994.**
16. HORTA, M. E.: **"PTE presa Baconao", Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, Ciudad de La Habana, 1990.**
17. BAUTA, R.: **"Cálculos hidrológicos para el estudio de factibilidad CH Guaninicún", Centro de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Santiago de Cuba, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín, Santiago de Cuba, abril, 2001.**
18. BERMÚDEZ, G.: **" Investigaciones hidrológicas para los cálculos hidroeconómicos en la cuenca del río Guaninicún", UNAIC, Santiago de Cuba, mayo 2002.**
19. MARTÍNEZ R., J. B.: **"Manual de usuario del sistema KAX 2.0", Grupo de Estudios de los Recursos Hidráulicos, Centro de Investigaciones Hidráulicas, CUJAE, Ciudad de La Habana, junio, 2002.**
20. _____ : **"Economía de los recursos hidráulicos, Centro de Investigaciones Hidráulicas, CUJAE, Ciudad de La Habana, 2000.**

Recibido: enero del 2004
Aprobado: enero del 2004

ANEXO 1

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS DEL SISTEMA. DOS HERMANOS - GUANINICÚN - CIUDAD

OBRAS.	00 - 05	05 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40	50 - 45	45 - 50
PRIMERA ETAPA.										
Presa Guaninicún.										
Túnel de entrega Guaninicún.										
Conductora Dos Bocas - Ciudad.										
Planta potabilizadora San Vicente.										
SEGUNDA ETAPA..										
Presa Dos Hermanos.										
Túnel de trasvase Dos Hnos. - Guaninicún.										
Ampliac. planta potabilizadora San Vicente.										



ANEXO 2

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS DEL SISTEMA LA PIMIENTA - CIUDAD.

No	OBRAS.	00 - 05	05 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40	50 - 45	45 - 50
	TIEMPO DE EJECUCIÓN.										
1	Presa La Pimienta.										
2	Túnel de entrega La Pimienta.										
3	Conductora El Cupey - Ciudad.										
4	Planta potabilizadora El Cupey.